

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001 年 10 月 11 日 (11.10.2001)

PCT

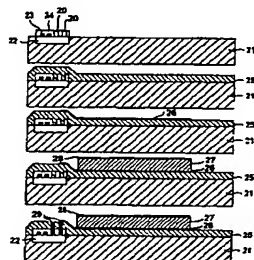
(10) 国際公開番号  
WO 01/75985 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 41/08, B41J 2/045 (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 栗原和明 (KURIHARA, Kazuaki) [JP/JP]. 西沢元亨 (NISHIZAWA, Motoyuki) [JP/JP]. 倉澤正樹 (KURASAWA, Masaki) [JP/JP]. 岡本圭史郎 (OKAMOTO, Keishiro) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/02036
- (22) 国際出願日: 2000 年 3 月 30 日 (30.03.2000)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (74) 代理人: 伊東忠彦 (ITO, Tadahiko); 〒150-6032 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデンプレイスタワー32階 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, US.
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

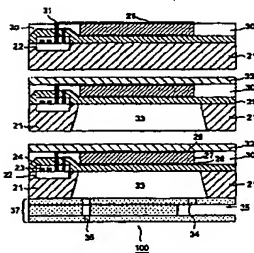
(54) Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR, ITS MANUFACTURING METHOD, AND INK-JET HEAD COMPRISING THE SAME

(54) 発明の名称: 圧電アクチュエータ及びその製造方法並びにこれを用いたインクジェットヘッド



(57) Abstract: An actuator for ink-jet heads having a high sensitivity and a high durability. A perovskite oxide is hetero epitaxially grown through an intermediate film on a monocrystalline Si substrate so as to form a monocrystalline piezoelectric thin film the crystal orientation of which is aligned with the Si substrate, thus producing a piezoelectric actuator.

(57) 要約:



インクジェットヘッド用の高感度且つ高耐久性なアクチュエータを提供する。  
単結晶 Si 基板上で中間膜を介してペロブスカイト酸化物をヘテロエピタキシャル成長させ、Si 基板と結晶方位の揃った単結晶圧電体薄膜を形成して圧電アクチュエータとする。

WO 01/75985 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

圧電アクチュエータ及びその製造方法並びにこれを用いたインクジェットヘッド

## 5 技術分野

本発明は圧電アクチュエータに関し、特にコンピュータ、ワードプロセッサ、ファクシミリ、複写機等の電子機器に内蔵或いは接続されるプリンタ装置で使用するインクジェットヘッドに適用可能な圧電アクチュエータ及びこれを備えたインクジェットヘッドに関する。

10

## 背景技術

プリンタ装置に搭載されるインクジェットヘッドのタイプには、加熱素子によりインクを瞬間加熱或いは気化させて気泡を発生させ、その圧力でノズルよりインクを飛翔（噴射）させるバブルジェット方式と、圧電素子（ピエゾ素子）の変形を利用してノズルよりインクを飛翔させるピエゾ方式とがある。

15

上記バブル方式はインクヘッドの構造が簡単であり、基板上に半導体素子を製造するときと同様に積み重ねプロセスでインク駆動源（加熱素子）を形成できるので、ノズルの高密度化、低コスト化の面では有利である。しかし、その消費電力が大きく、またインク噴射力の緻密な制御が困難であり印字画質が相対的に劣るという欠点がある。

20

一方、ピエゾ方式は上記インク噴射力の精密な制御が可能で高画質印字が可能であるが、バブル方式と比較してインクヘッドの構造が複雑であり、ノズルの密度、コストの面で劣っていた。そこで近年、ピエゾ方式のインクヘッドの微小化、ノズルの高密度化を図るため、圧電体を薄膜化して形成するユニモルフ型のアクチュエータを用いるピエゾ型のインクジェットヘッドが提案されている。

25

図1はかかるユニモルフ型のアクチュエータを用いるインクジェットヘッドの概要構成を示す断面図である。図1でインクジェットヘッド10はインク圧力室14を含むインク供給系と、インク圧力室14内に圧力を発生させる圧電素子としての圧電体薄膜11を含む圧力発生系と、インク圧力室14内に生じた圧力に

応じてインク粒子 18 を噴射するノズル 15 等を備えた構成である。インク供給系は図示せぬインクタンクからインクを供給する共通インク流路 17 及びこの共通インク流路 17 から各インク圧力室 14 への接続を行うインク供給口 16 等で構成されている。

- 5 圧力発生系は、インク圧力室 14 の一辺の壁を成す振動板 13 と、その上に (図 1 では下に) 接して配置された圧電体薄膜 11 と、さらに圧電体薄膜の上に接して配設された個別電極 12 等から構成されている。上記振動板 13 は例えばクロム (Cr) 系の導電性材料により構成されて共通電極も兼ねており、図 1 の紙面に垂直な方向に設けられている独立した複数のインク圧力室 14 を一括して覆うように配設されている。

- 10 上記圧電体薄膜 11 と個別電極 12 は各インク圧力室 14 に対応して個別に設けられている。圧電体薄膜 11 は個別電極 12 と振動板 (共通電極も兼ねる) 13 の間で電荷の供給を受けるとその電荷量に応じて変位する。この変位を利用して、図 1 中で点線で示すように振動板 13 を撓ませてインク圧力室 14 内に圧力を生じさせ、ノズル 15 からインク粒子 18 を飛翔させて記録媒体上に印字等の記録を行う。

- 上記説明から明らかなように、上記インクジェットヘッド 10 で、圧電体薄膜 11、個別電極 12 及び振動板 13 はインクを飛翔させるためのエネルギーを発生させるアクチュエータの役割を果たしている。このアクチュエータ部分をより  
20 高感度、高耐久性にすれば、インクジェットヘッドの性能を向上させることができる。

- そこで、上記圧電体薄膜 11 として単結晶薄膜を用い圧電性能、耐圧、耐応力を向上させ、低電圧で大きな変位量、発生力が得られる高性能のアクチュエータを利用するインクジェットヘッドが提案されている。しかし、単結晶の圧電体薄膜を得るためには、その下地に MgO や STO (SrTiO<sub>3</sub>) 等の高価な単結晶基板を用いる必要がある。しかも、MgO 等の単結晶は大きな面積に成長させることが困難であり製造コストが上昇するという問題を有している。

## 発明の開示

本発明は上記の問題を解決して、圧電性能、耐圧、耐応力に優れた圧電体薄膜を有するアクチュエータを提供すると共に、これを用いて微細化、高密度化及び低コスト化を図ったインクジェットヘッドを提供する。

- 5      まず、第1に本発明は圧電性能、耐圧、耐応力に優れた圧電体薄膜を有するアクチュエータを提供する。

- この圧電アクチュエータは、単結晶Siと結晶方位の揃った単結晶圧電体薄膜と、該単結晶圧電体薄膜の両面側にそれぞれ形成された電極膜とを含んでいる。単結晶圧電体薄膜は従来の多結晶圧電体と比較して、圧電性能、耐圧、耐応力に  
10      優れており、インクジェットヘッドをより微細に加工することを可能とする。

- そして、前記圧電アクチュエータには、前記電極膜の少なくとも一方が、前記単結晶圧電体薄膜と接して配設され、該電極膜と単結晶圧電体薄膜とはヘテロエピタキシャル関係にある構成或いは、前記単結晶圧電体薄膜と接して配設される電極膜と、該電極膜に接して配設される振動板とを含み、該単結晶圧電体薄膜、  
15      電極膜及び振動板は接する相手方の膜とヘテロエピタキシャル関係にある構成も含まれる。

- また、前記圧電アクチュエータは一層の単結晶圧電体薄膜を駆動するものばかりではなく、単結晶Siと結晶方位の揃った単結晶圧電体薄膜と、該単結晶圧電体薄膜と接して配設される電極膜とが複数回繰返して積層され、それぞれの膜が  
20      接する相手方の膜とヘテロエピタキシャル関係にある多層の構成としてもよい。

- さらに、前記圧電アクチュエータに関して、前記単結晶圧電体薄膜は、自ら単結晶Si基板上でヘテロエピタキシャル成長し、かつその上に形成される単結晶圧電体薄膜を前記単結晶Siと結晶方位の揃った状態にヘテロエピタキシャル成長させる中間膜を介して、単結晶Si基板上に形成された薄膜とすることができ  
25      る。ここで単結晶圧電体薄膜は中間膜に基づいてその結晶方位が単結晶Siの結晶方位と実質的に揃えばよく、間に他の膜を介して間接的に中間膜と接するようにしてもよい。

また、圧電アクチュエータの前記中間膜を振動膜として構成することもできる。この場合は製造工程で別途、振動膜用の材料を成膜する必要がないので工程を簡

素化できる。

前記中間膜は、 $Y_2O_3$ 添加 $ZrO_2$  (YSZ)、 $MgAlO_3$ 、 $CeO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ からなる群から選択される1つを主成分とする材料より形成することが好ましい。これらの材料は単結晶Siと単結晶圧電体薄膜との格子整合性の機

5 能を有している。

また、前記単結晶Si基板上に前記単結晶圧電体薄膜を駆動するための半導体回路が予め形成されていればより好ましい。圧電アクチュエータの製造に用いる基板に予め必要な回路が設けられているので、製造工程の簡素化を図ることができる。

10 また、前記単結晶圧電体薄膜としては、鉛系のペロブスカイト酸化物を用いることが好ましく、例えばPZT, PLZT, PMN-PT等を挙げることができる。

第2に本発明は、上記のような優れた圧電アクチュエータをインク粒子噴射用の駆動源として適用し、インクジェットヘッドの微細化、微小ドット化、ノズルの高密度化及び低コスト化を可能とする。さらに、このインクジェットヘッドを  
15 有するインクジェットプリンタは小型で、高品質な画質を提供できる。

第3に本発明は上記圧電アクチュエータの製造方法も提供する。この製造方法は、単結晶Siを基板とし、該Si基板の表面に中間層をヘテロエピタキシャル成長させ、さらに中間層の上に圧電体薄膜をヘテロエピタキシャル成長させる工程と、該圧電体薄膜が駆動する領域の単結晶Si基板を除去する工程とを含む。  
20

前記中間膜は $Y_2O_3$ 添加 $ZrO_2$  (YSZ)、 $MgAlO_3$ 、 $CeO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ からなる群から選択される1つを主成分とする材料を用いることが好ましい。そして、前記中間膜と前記圧電体薄膜との間にこれらとヘテロエピタキシャル関係にある電極層膜を形成する工程をさらに含んでもよい。

25

#### 図面の簡単な説明

図1は、ユニモルフ型のアクチュエータを用いる従来のインクジェットヘッドの概要構成を示す断面図である。

図2は、本発明の第1実施例にかかるインクジェットヘッドの製造工程を順じ

説明する図である。

図3は、本発明のインクジェットヘッドを適用したインクジェットプリンタの例を示す図である。

図4は、本発明の第2実施例にかかるインクジェットヘッドの製造工程を順じ  
5 説明する図である。

図5は、第1実施例の単結晶圧電体薄膜を二層にしたバイモルフ型の変形例を示す図である。

発明の実施をするための最良の形態

10 以下、図面を参照して本発明の圧電アクチュエータ及びこれを用いたインクジェットヘッドについてより詳細に説明する。

本発明は、この技術分野で従来一般的に使用されていたMgO等の基板を用いるのではなく、半導体製造の分野で使用されている単結晶Siウエハを用いている。単結晶Siウエハは、MgO等を基板とした場合と比較して安価であり、大  
15 面積の基板とすることができるので低コスト化を図ることができる。

本発明では圧電体材料として一般に使用されているPZT ( $\text{PbZrO}_3$ )等のペロブスカイト酸化物を用いている。

ところで、単結晶Siとペロブスカイト酸化物の結晶構造や格子定数は異なるため、単に単結晶Si上にペロブスカイト酸化物を成膜すると多結晶構造となっ  
20 てしまう。そこで、本発明者等は鋭意検討を行い、所定構造の中間膜を単結晶Si上に成膜し、この中間膜上にペロブスカイト酸化物を成膜すると従来において困難とされていたペロブスカイト酸化物の単結晶を得られることを確認した。

この中間膜は、単結晶Siとペロブスカイト酸化物との格子整合性を図る機能を有する膜であり、例えば $\text{Y}_2\text{O}_3$ 添加 $\text{ZrO}_2$  (YSZ)、 $\text{MgAlO}_3$  (MAS)、  
25  $\text{CeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の酸化物を好適な膜として推奨できる。

すなわち、単結晶Si上に上記酸化物を成膜するとヘテロエピタキシャル成長した中間膜を形成でき、この中間膜上にペロブスカイト酸化物をヘテロエピタキシャル成長させると単結晶圧電体薄膜を形成することができる。この単結晶圧電体薄膜は単結晶Siと結晶方位の揃った単結晶となる。なお、単結晶圧電体薄膜

は中間膜に基づいてその結晶方位が単結晶 Si の結晶方位と実質的に揃えばよく、間に電極膜等を介して間接的に中間膜と接するようにしてもよい。この場合はには、単結晶 Si、中間膜、電極膜そして単結晶圧電体薄膜の順となり、接する膜同士はヘテロエピタキシャル関係となる。

- 5 上記酸化物の中で、YSZ は化学的安定性、機械強度、絶縁性等に優れ、さらに良質で結晶性の高いヘテロエピタキシャル膜が得られることから好ましい。

なお、参考として以下の表 1 に単結晶 Si と上記中間膜用材料となる酸化物の結晶格子定数を示す。但し、ここに挙げた材料は立方晶系であるので一辺の長さを比較して示している。

10 表 1 : 格子定数の比較

材 料	格子定数 (nm)
Si	0. 5 4 3
YSZ	0. 5 1 4
MgAlO <sub>3</sub>	0. 8 0 8
CeO	0. 5 4 1
MgO	0. 4 2 1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0. 4 7 6

上記のようにペロブスカイト酸化物を材料として形成した圧電体薄膜単結晶の両面に電荷を供給する電極膜を薄膜形成技術等を用いて形成すると高感度で耐性のある圧電アクチュエータを形成することができる。

- 15 つぎに、かかる圧電アクチュエータを有するインクジェットヘッドの製造方法として 3 つの例を以下に示す。

- 第 1 の製造例では、まず単結晶 Si (100) 面を有する基板上に、中間膜 YSZ の (100) 面、下部電極 Pt の (100) 面、を順にヘテロエピタキシャル成長させる。この下部電極 Pt (100) 面上に圧電体薄膜として例えば PZT をヘテロエピタキシャル成長させると単結晶 Si と同じ結晶方位の C 軸配向の PZT 単結晶が得られる。その後、PZT 単結晶上に振動板として例えばクロム (Cr) を形成すると圧電アクチュエータの構成を有する積層体が完成する。
- 20

この後さらに、上記積層体の上にインク圧力室、ノズル等を形成し、下側から Si 基板及び YSZ を除去し、下部電極 Pt 及び YSZ をパターンニングするとインクジェットヘッドとすることができる。



- 第2の製造例では、先ず単結晶Si(100)面を有する基板上に、中間膜MASの(100)面、下部電極Ptの(100)面、を順じヘテロエピタキシャル成長させる。この下部電極Pt(100)面上に圧電体薄膜として例えばPZTをヘテロエピタキシャル成長させると単結晶Siと同じ結晶方位のC軸配向のPZT単結晶が得られる。つぎにPZT、下部電極Ptを駆動領域等を残して除去し、ポリイミドを塗布して平坦化処理を施す。その後、例えばTiNを振動板兼用の共通電極として形成すると圧電アクチュエータの構成を有する積層体が完成する。

- この後さらに、上記積層体の上にインク圧力室、ノズル等を形成し、下から単結晶Si基板及びMASを除去し、下部電極Pt及びMASをパターンニングするとインクジェットヘッドとすることができる。

- さらに第3の製造例を説明する。この例は中間膜としてYSZを用い、これを振動板としても用いる製造例である。まず、単結晶Si(100)面を有する基板上に、中間膜YSZの(100)面、下部電極Ptの(100)面、を順じヘテロエピタキシャル成長させる。この下部電極Pt(100)面上に圧電体薄膜として例えばPZTをヘテロエピタキシャル成長させると単結晶Siと同じ結晶方位のC軸配向のPZT単結晶が得られる。その後PZT単結晶上に上部電極Ptを形成する。この後、上部電極PtとPZTをパターンニングして駆動部を形成する。

- この後さらに、基板の下側からPZT駆動部に対応するインク圧力室を形成するように単結晶Si基板を除去し、さらにインク流路、ノズル等を形成することでインクジェットヘッドとすることができる。

- なお、前述した製造工程において用いる単結晶Siウエハに関して、圧電体薄膜を駆動するための駆動回路を予め一体的に形成しておくことで、よりコストの低減化を図ることができる。

また、上記圧電アクチュエータの圧電体薄膜は、一層で形成したユニモルフ型が基本型であるが、これに限らずバイモルフ型、さらには3層以上の多層型としてもよい。このように圧電体薄膜と電極膜を複数積層した構造では接する膜同士はヘテロエピタキシャル関係となる。

上記圧電体薄膜を形成する材料は、圧電定数が大きく、弾性係数、機械強度が大きい材料が好ましく鉛系のペロブスカイト酸化物が好ましい。一般に使用されているペロブスカイト酸化物として、例えばPZT ( $\text{PbZrO}_3$ )、PLZT、PMN-PT等を用いることができるが、PZTが推奨される。

- 5      また、上記振動板は高弾性、高破壊強度を有することが要求されるが、絶縁体であるか導体であるかは問はない。ただし、振動板を導体で形成した場合は共通電極として使用することができる。また、上記のように本発明の圧電アクチュエータをインクジェットヘッドに使用する場合はインクに対する化学的安定性を備えた材料であることが好ましい。

10

以下、実施例としてインクジェットヘッドの製造プロセスを図に基づき具体的に説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例に限定されるものでない。

[実施例1]

- 15      図2は中間膜に $\text{Y}_2\text{O}_3$ 添加 $\text{ZrO}_2$  (YSZ) を用い、これを振動膜として用いたインクジェットヘッドの製造工程を順じ示している。

- 20      図2 (A) は、基板として使用した単結晶Siウエハに駆動部としての圧電アクチュエータを駆動するための配線を準備する工程を示している。単結晶Siウエハ21には、圧電アクチュエータドライブ回路等の半導体回路22、配線23が予め配設されており、その表面はSiONのパッシベーション膜24で保護されている。反応性イオンエッチング法（以下、単にRIE）を用いて、パッシベーション膜24に配線引出し用のビアホール20を形成する。

- 25      なお、図2 (A) では単結晶Siウエハ21上の1つの素子を側面から示しているが、紙面と平行及び垂直方向には同様の構成が多数連続的に繰返されている。なお、この素子数は従来においてMgO基板を用いたときよりもSi基板が大面積であるので増加する。

図2 (B) は、単結晶Siウエハ21上にYSZ中間膜25を成膜する工程を示す。単結晶Siウエハ21上にYSZ中間膜25をスパッタ法でヘテロエピタキシャル成長させる。

図2 (C) は、下部電極26を形成する工程を示す。YSZ中間膜25上に下

部電極 26 として P t をスパッタ法でヘテロエピタキシャル成長させる。P t の不要部分はイオンミリング法により除去する。

図 2 (D) は、単結晶圧電体薄膜を形成する工程を示す。圧電体材料として P Z T を用い、P t 下部電極 26 上に P Z T 圧電体薄膜 27、P t 上部電極 28 を  
5 スパッタ法で順じヘテロエピタキシャル成長させる。この P t 上部電極 28 及び P Z T 圧電体薄膜 27 は、圧電アクチュエータを形成させる領域を残し R I E で不要部分を除去する。

図 2 (E) は、P t 下部電極 26 と回路 22 側の配線を接続する工程を示す。R I E で Y S Z 中間膜 25 にビアホールを形成する。そして、スパッタ法により  
10 アルミニウム (A 1) 29 を用いてビアホールを埋め、さらに R I E を用いて所定の配線をパターンニングする。

図 2 (F) は、P t 上部電極 28 と回路 22 側の配線を接続する工程を示す。図 2 (E) で示した構造体の上面にポリイミド 30 をコーティングした後、表面を平坦化する研磨処理を施す。そして、R I E でポリイミド 30 に P t 上部電極  
15 28 との接続用ビアホールを形成する。その後、スパッタ法によりアルミニウム (A 1) 31 を用いてビアホールを埋め、さらに R I E を用いて所定の配線をパターンニングする。

図 2 (G) は、上面側の保護と、圧電アクチュエータが駆動する圧力室を形成する工程を示す。図 2 (F) で示した構造体の上面にポリイミドをコーティング  
20 した後、表面を平坦化する研磨処理を施してポリイミドパッシベーション膜 32 を形成する。

一方、構造体の下から異方性エッチングを行って、単結晶 S i ウエハ 21 の内で圧電アクチュエータの駆動領域に当たる部分を除去し、圧力室 33 を形成する。

図 2 (H) は、インクジェットヘッド 100 の最終形態を示している。図 2 (A) から図 2 (G) で形成した構造体の上部半体と、別途準備したインク供給口 34、  
25 インク流路 35 及びノズル穴 36 等を有する下部半体 37 とを接着することでインクジェットヘッド 100 とする。

上記インクジェットヘッド 100 は、例えば図 3 に示すような紙送り機構 210、インクタンク 220、ヘッドクリーニング・ページ機構 230 等を有するイ

ンクジェットプリンタ 200 のインクヘッド部として採用することができ、高品質な画像形成を実現する。

本発明者等は、Si ウエハ上に従来使用されていた多結晶 PZT を形成した場合と、本発明で用いた単結晶 PZT を形成した場合で、特性比較の試験を行い下

5 記表 2 に示す結果を得た。

表 2 : Si 上の多結晶 PZT と単結晶 PZT の特性比較

結晶の種類	圧電定数 d <sub>31</sub> (p m/V)	耐圧 (k V/mm)	耐応力 (MP a)
多結晶 (従来)	55	15	200
単結晶 (本発明)	100	50	900

上記表 2 から明らかなように、圧電定数、耐圧及び耐応力のすべての点で単結晶が優れており、このような単結晶薄膜を有する圧電アクチュエータが高感度かつ高耐久性を備えていることが示されている。

10 さらに、本発明者等は上記実施例 1 で製造したインクジェットヘッドに対し、アクチュエータ部を多結晶圧電体薄膜としたインクジェットヘッドを製造して比較した。

〔比較例 1〕

15 実施例 1 と同様の構造で、多結晶 YSZ 振動板、多結晶 PZT としたインクジェットヘッドを用いて印字試験を行った。実施例 1 で製造したインクジェットヘッドで印加した最大電圧の 1/3 で圧電体薄膜がショートし、破損した。また、ショートしない電圧で駆動した場合にはインク粒子は十分に飛翔せず印字不良となった。

20 以上から明らかなように、上記インクインクジェット 100 は、高感度で耐久性に優れた PZT 単結晶薄膜を含む圧電アクチュエータを駆動部としているので、小型化、高密度化が可能であり、高画質、高速のインクヘッドとなる。さらに、Si ウエハを用いるので従来に比べ大面積の基板となり、製造コストも大幅に低減できる。

25 さらに、本発明の第 2 実施例を図 4 に基づき説明する。第 2 実施例は中間膜に MgAlO<sub>3</sub> (MAS) を用い、また Cr を振動膜として形成して上部電極と兼用したインクジェットヘッドである。

図4 (A) は、基板として使用した単結晶Siウエハに圧電アクチュエータ駆動用の配線を準備する工程を示している。単結晶Siウエハ51には、圧電アクチュエータドライブ回路等の半導体回路52、配線53が予め配設されており、その表面はSiONのパッシベーション膜54で保護されている。RIEを用いて、パッシベーション膜54に配線引出し用のビアホール50を形成する。

図4 (B) は、単結晶Siウエハ51上にMAS中間膜55を成膜し、下部電極56を形成する工程を示す。単結晶Siウエハ51上にMAS中間膜55をスパッタ法でヘテロエピタキシャル成長させる。RIEでMAS中間膜55に配線用のビアホール形成した後、スパッタ法により下部電極56としてPtをヘテロエピタキシャル成長させる。その後、Ptの不要部分はイオンミリング法により除去する。

図4 (C) は、単結晶圧電体薄膜を形成する工程を示す。圧電体材料としてPZTを用い、Pt下部電極56上にPZT圧電体薄膜57をCSD (Chemical Solution Deposition) 法でヘテロエピタキシャル成長させる。このPZT圧電体薄膜57は、圧電アクチュエータを形成させる領域を残しRIEで不要部分を除去する。

図4 (D) は、振動板形成工程を示す。図4 (C) で示した構造体の上面にポリイミド58をコーティングした後、表面を平坦化する研磨処理を施す。そして、RIEでポリイミド58に上部電極用ビアホールを形成する。その後さらに、スパッタ法により振動板と上部電極兼用のクロム膜59をヘテロエピタキシャル成長させる。

図4 (E) は、インクジェットヘッド300の最終形態を示している。図4 (D) で示した構造体にさらにポリイミド60を成膜し、RIEによりエッチングして圧力室61を形成して下部半体とする。さらに、インク供給口62、インク流路63及びノズル穴64等を有する上部半体65を別途、準備して上・下半体を接着する。最後に、圧電アクチュエータ駆動領域に当たる部分の単結晶Si基板51とMAS中間膜55をエッチング除去して、インクジェットヘッド300とする。

本第2実施例で製造されたインクジェットヘッド300も、第1実施例のイン

クジェットヘッド100と同様に、高感度で耐久性に優れ、高画質、高速のインクヘッドとなった。

この第2実施例のインクジェットヘッドに関しても多結晶圧電体を有するインクジェットヘッド製造して、比較を行った。

5     〔比較例2〕

実施例2と同様の構造で、MAS中間膜を設けず、多結晶PZTとしたインクジェットヘッドを用いて印字試験を行った。実施例2で製造したインクジェットヘッドで印加した最大電圧の1/3で圧電体薄膜がショートし、破損した。また、ショートしない電圧で駆動した場合にはインク粒子は十分に飛翔せず印字不良となった。

さらに、図5は前述した第1実施例の変形例について示している。第1実施例の単結晶圧電体薄膜27は一層のユニモルフ型であったが、変形例ではこれを二層としたバイモルフ型の単結晶圧電体薄膜を示している。このように多層化することでインク圧力室へ加える駆動力を高めることができる。

15     図5に示したインクジェットヘッド400は、第1実施例のインクジェットヘッド100と同一部位には同一符号を付している。インクジェットヘッド400では、単結晶圧電体薄膜が下部薄膜27-1と上部薄膜27-2の2層で構成され、これらの間に中間電極膜420が形成される。この中間電極膜420は下部薄膜27-1と上部薄膜27-2の共通電極となる。下部電極膜26と上部電極膜410は回路22からの配線440に接続され、中間電極膜420は回路22からの配線430に接続された構成となる。

上記インクジェットヘッド400は、第1実施例のインクジェット100を製造するプロセスを応用して製造することができ、中間電極膜420とポリイミド30-2を形成する工程を追加することで同様に製造することができる。

25     なお、上記下部電極膜26から上部電極膜410までの各膜は、YSZ中間膜25上に順じヘテロエピタキシャル成長させて形成されるので、接する互いの膜はヘテロエピタキシャル関係となる。

上記図5の変形例は2層の場合を示したが、更に多層にした変形例も同様に形成できる。また、第2実施例のインクジェットヘッド300についても単結晶圧

電体薄膜を多層化してもよい。

- 以上、詳述したことから明らかなように、本発明では半導体製造分野で広く用いられているSiウエハを用いて単結晶圧電薄膜を有する圧電アクチュエータを安価に製造することができる。このような圧電アクチュエータは高性能かつ高耐久性を備えたものである。そして、この圧電アクチュエータを用いるインクジェットヘッドは小型化が可能で、高画質、低コストのプリンタ装置を実現できる。
- 5

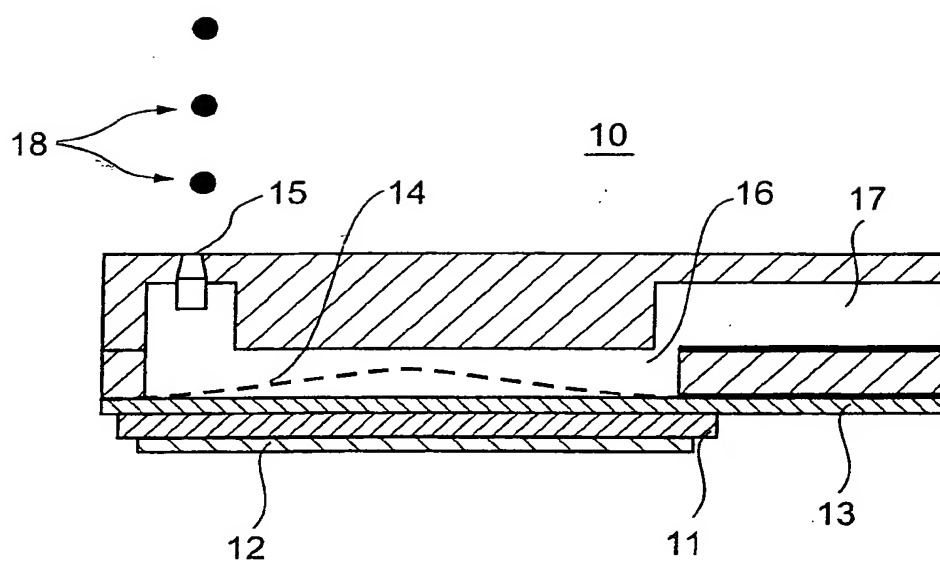
## 請求の範囲

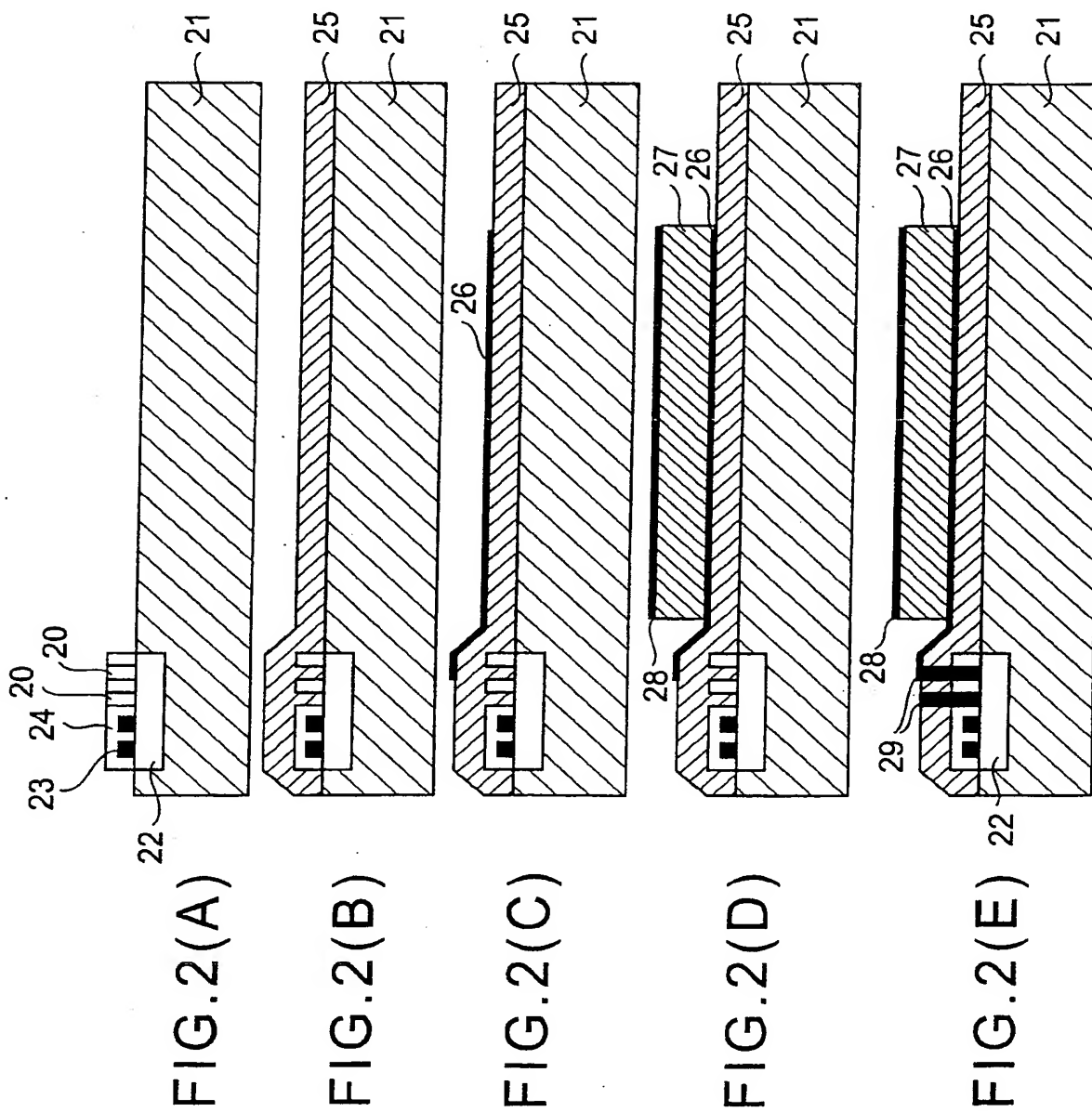
1. 単結晶 Si と結晶方位の揃った単結晶圧電体薄膜と、該単結晶圧電体薄膜の両面側にそれぞれ形成された電極膜とを含む圧電アクチュエータ。
- 5
2. 前記電極膜の少なくとも一方は、前記単結晶圧電体薄膜と接して配設され、該電極膜と単結晶圧電体薄膜とはヘテロエピタキシャル関係にある請求項 1 記載の圧電アクチュエータ。
- 10
3. 前記単結晶圧電体薄膜と接して配設される電極膜と、該電極膜に接して配設される振動板とを含み、該単結晶圧電体薄膜、電極膜及び振動板は接する相手方の膜とヘテロエピタキシャル関係にある請求項 1 記載の圧電アクチュエータ。
- 15
4. 単結晶 Si と結晶方位の揃った単結晶圧電体薄膜と、該単結晶圧電体薄膜と接して配設される電極膜とが複数回繰返して積層され、それぞれの膜が接する相手方の膜とヘテロエピタキシャル関係にある圧電アクチュエータ。
- 20
5. 前記単結晶圧電体薄は、自ら単結晶 Si 基板上でヘテロエピタキシャル成長し、かつその上に形成される単結晶圧電体薄膜を前記単結晶 Si と結晶方位の揃った状態にヘテロエピタキシャル成長させる中間膜を介して、単結晶 Si 基板上に形成された薄膜である請求項 1 から 4 いずれかに記載された圧電アクチュエータ。
- 25
6. 前記中間膜が振動膜として構成された請求項 5 記載の圧電アクチュエータ。
7. 前記中間膜は  $Y_2O_3$  添加  $ZrO_2$  (YSZ)、 $MgAlO_3$ 、 $CeO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$  からなる群から選択される 1 つを主成分とする材料よりなる請求項 5 記載の圧電アクチュエータ



8. 前記単結晶 Si 基板上に前記単結晶圧電体薄膜を駆動するための半導体回路が予め形成されている請求項 5 記載の圧電アクチュエータ。
9. 前記単結晶圧電体薄膜は、鉛系のペロブスカイト酸化物である請求項 7 記載の圧電アクチュエータ。
10. 請求項 1 から 9 いずれかに記載の圧電アクチュエータをインク粒子噴射用の駆動源として含むインクジェットヘッド。
- 10 11. 請求項 10 記載のインクジェットヘッドを有するインクジェットプリンタ。
12. 単結晶 Si を基板とし、該単結晶 Si 基板の表面に中間層をヘテロエピタキシャル成長させ、さらに中間層の上に圧電体薄膜をヘテロエピタキシャル成長させる工程と、該圧電体薄膜が駆動する領域の単結晶 Si 基板を除去する工程とを含む圧電アクチュエータの製造方法。
- 15 13. 前記中間膜は  $Y_2O_3$  添加  $ZrO_2$  (YSZ)、 $MgAlO_3$ 、 $CeO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$  からなる群から選択される 1 つを主成分とする材料よりなる請求
- 20 項 12 記載の圧電アクチュエータの製造方法。
14. 前記中間膜と前記圧電体薄膜との間にこれらとヘテロエピタキシャル関係にある電極層膜を形成する工程をさらに含む請求項 13 記載の圧電アクチュエータの製造方法。

FIG.1





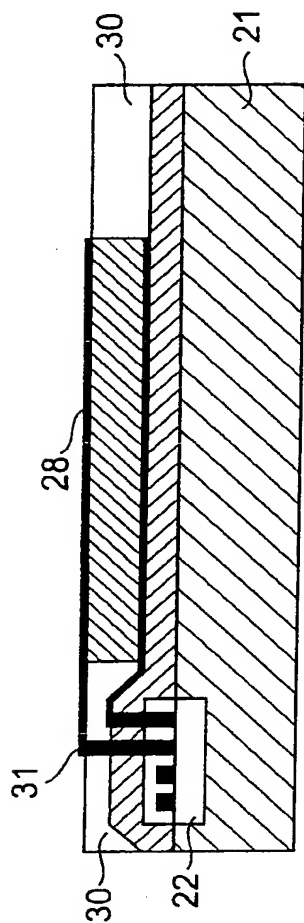


FIG. 2(F)

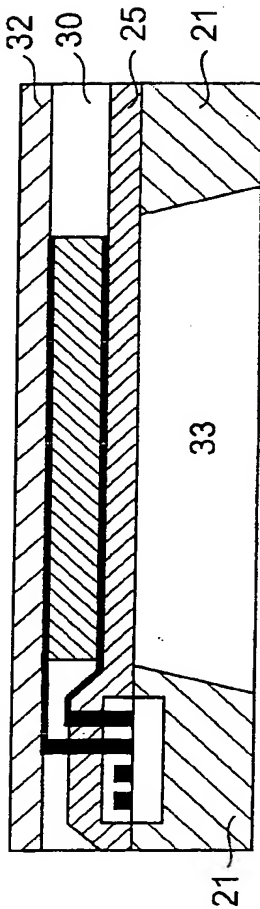


FIG. 2(G)

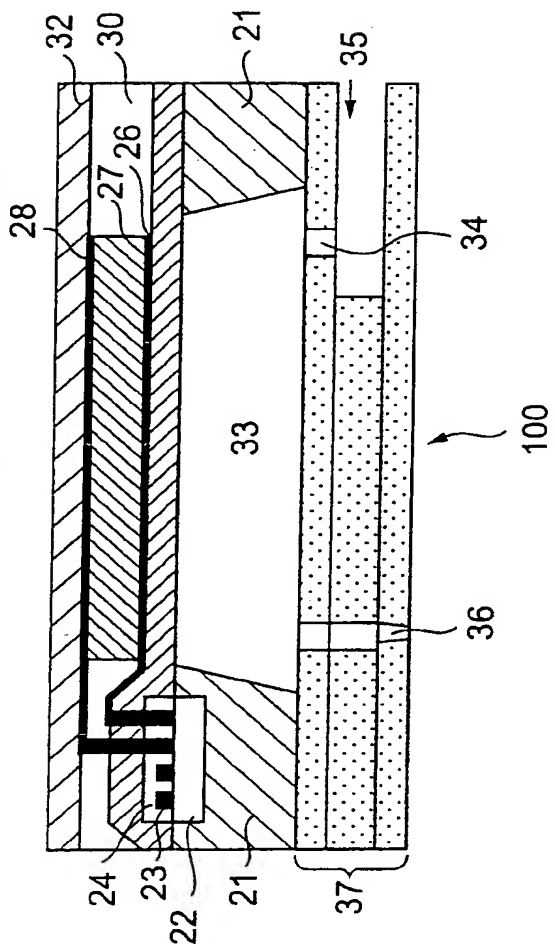
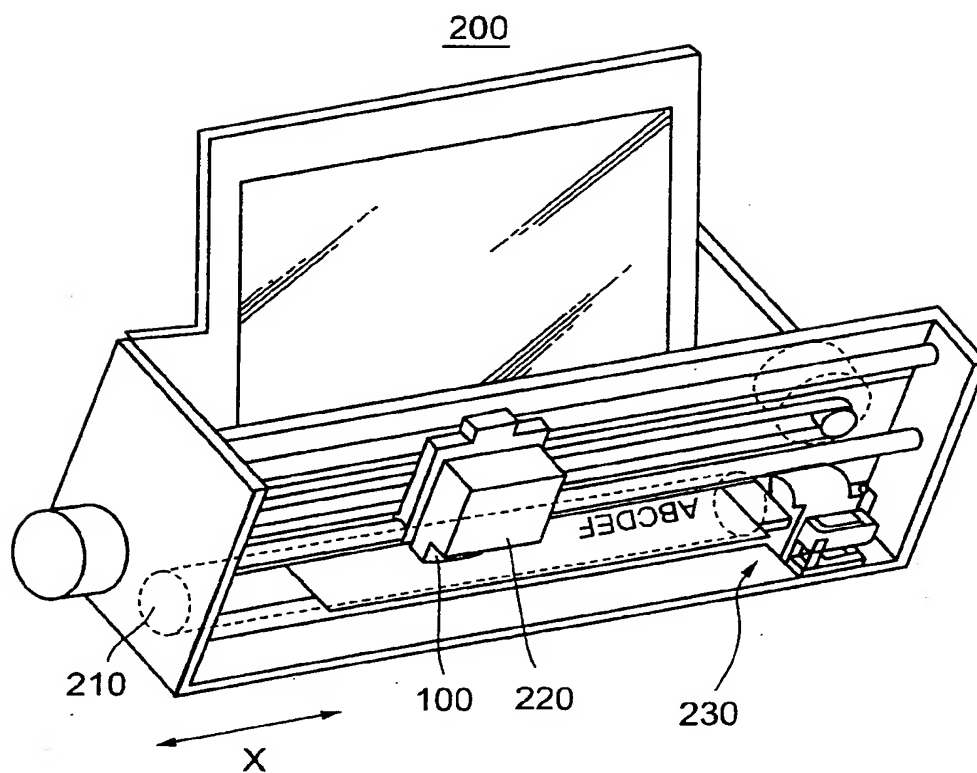


FIG. 2(H)

FIG.3



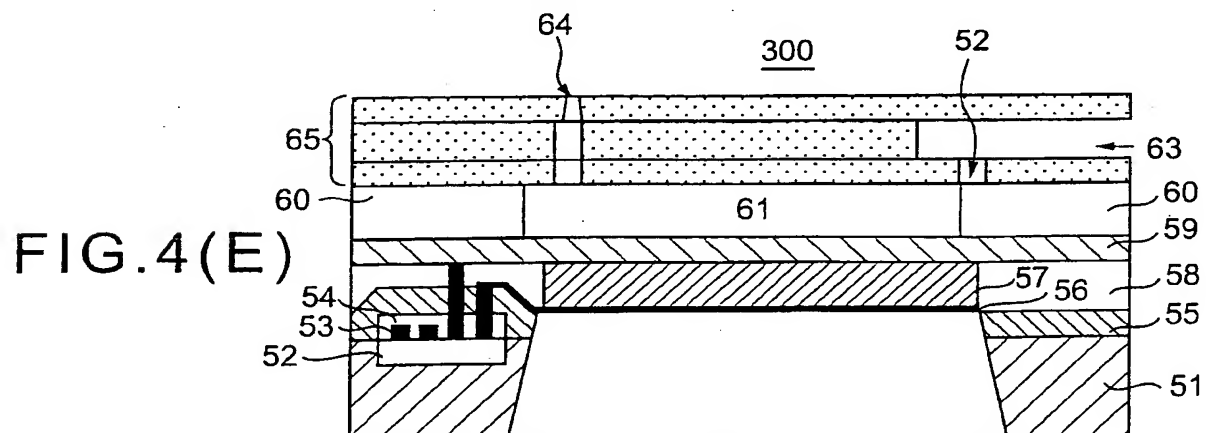
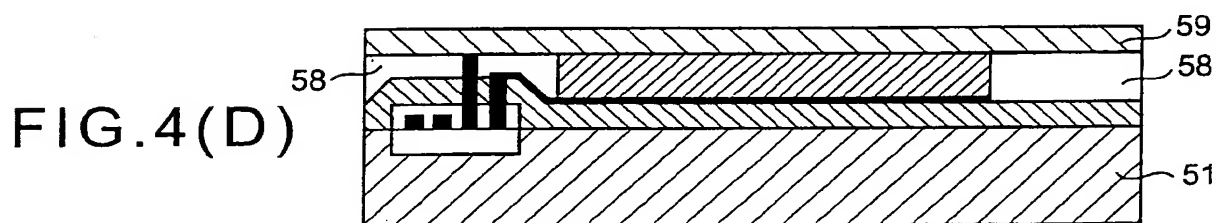
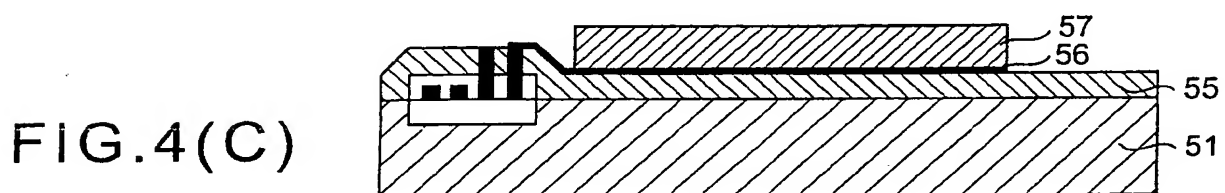
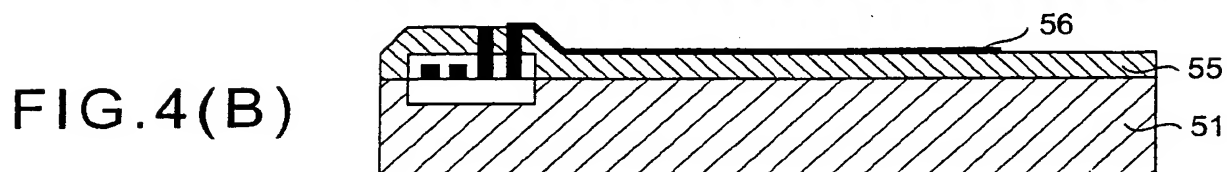
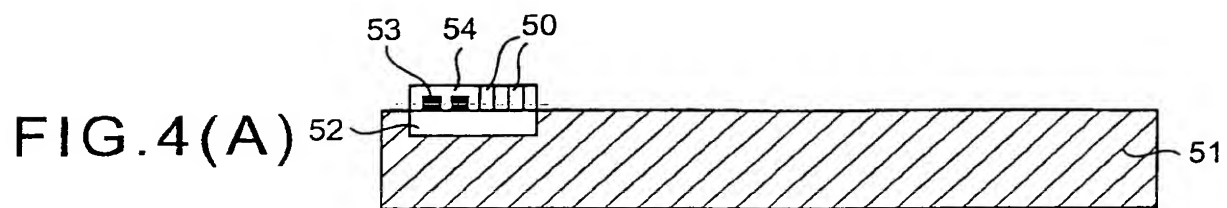


FIG.5

